

## ANALISIS GEOSTATISTIK UNTUK PEMETAAN PERUBAHAN KUALITAS AIR TANAH KAWASAN KARST KABUPATEN GUNUNGKIDUL

Herlina<sup>1</sup>, Diyono<sup>2</sup>

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281. Phone: +62-274-513665, Fax: +62-274-589659,

e-mail: [herlina92@mail.ugm.ac.id](mailto:herlina92@mail.ugm.ac.id), [diyono@ugm.ac.id](mailto:diyono@ugm.ac.id).

### ABSTRAK

Kawasan karst Kabupaten Gunungkidul sekitar 807 km<sup>2</sup>, atau 53% dari luas seluruh wilayahnya. Adanya kecenderungan peningkatan penambangan karst menimbulkan berbagai potensi yang ada termasuk rusaknya tatanan air yaitu sumber air karst tercemar. Suhu, kekeruhan, *Total Dissolve Solid* (TDS), PH, kesadahan, mangan, besi, dan klorida merupakan parameter yang mempengaruhi kualitas air tanah. Pengukuran konsentrasi setiap parameter dilakukan melalui proses panjang dan membutuhkan biaya yang mahal, sehingga tidak semua pengukuran dilakukan di seluruh wilayah Gunungkidul. Oleh karena itu perlu dilakukan interpolasi terhadap delapan parameter tersebut dengan menggunakan metode geostatistik. Geostatistik metode kriging merupakan metode estimasi yang meminimalkan varians galat estimasi dengan korelasi silang antara variabel primer dengan variabel sekunder. Semivariogram terbaik kurun waktu lima tahun dengan nilai RMSE terkecil yaitu untuk suhu tahun 2018 dengan model *gaussian*, kekeruhan tahun 2018 dengan *Inverse Distance Weighting* (IDW), TDS tahun 2017 dengan model *gaussian*, PH tahun 2016 dengan model *exponential*, kesadahan tahun 2018 dengan model *exponential*, mangan tahun 2017 dengan model *circular*, besi tahun 2017 dengan model *exponential*, dan klorida tahun 2015 dengan model *Radial Basis Function* (RBF). Titik-titik pemantauan kualitas air tanah dengan delapan parameter tersebut mempunyai variansi yang berbeda-beda sehingga ada lima parameter yang menghasilkan nilai RMSE lebih dari satu. Untuk mengatasi hal tersebut selain membandingkan beberapa metode interpolasi juga dilakukan transformasi logaritma natural kemudian dilakukan uji korelasi nilai aktual dengan estimasi. Berdasarkan korelasi antara nilai aktual dengan estimasi menunjukkan estimasi yang dihasilkan oleh data yang tidak transformasi lebih akurat daripada data yang ditransformasi. Hasil estimasi setiap parameter divisualisasikan dalam bentuk peta sehingga dapat dilihat perubahan kualitas air tanah setiap tahun. Selain dalam bentuk peta, hasil dari penelitian ini berupa grafik perubahan berupa penampang melintang setiap parameter dari tahun 2015 sampai tahun 2019. Visualisasi perubahan tingkat kualitas air tanah diharapkan mampu menjadi masukan instansi terkait dalam konservasi sumber daya air.

**Kata kunci : Penambangan Karst, Pemetaan, Geostatistik, Kualitas Air Tanah.**

### ABSTRACT

Gunungkidul Regency has a karst area of approximately 807 km<sup>2</sup> or 53% of the total area of its territory. There is a tendency for expansion in karst mining leading to a number of potentials, including damage to the water system which is a pollution of karst water sources. Temperature, turbidity, *Total Dissolve Solid* (TDS), PH, hardness, manganese, iron, and chloride are parameters affecting groundwater quality. Measurement of the concentration of each parameter is performed through a long process and expensive costs. Therefore, not all measurements are performed in the entire area of Gunungkidul. Hence, it is important to interpolate the eight parameters using the geostatistical method. Geostatistical kriging method is an estimation method that reduces the error of variance estimation by a cross-correlation between primary and secondary variables. The best semivariogram for a five-year period with the smallest RMSE value is the temperature in 2018 using an *gaussian* model, turbidity in 2018 using a *IDW* model, *Total Dissolve Solid* (TDS) in 2017 using a *gaussian* model, PH in 2016 using a linear *exponential*, hardness in 2019 using a *exponential* model, manganese in 2017 using a *circular* model, iron in 2017 using a *exponential* model, and chlorides in 2015 using a *RBF*. Monitoring points of groundwater quality using these eight parameters have different variances so that five parameters are producing more than one RMSE value. To resolve this, besides comparing several interpolation methods, natural logarithmic transformations and the correlation of actual values with estimates were also performed. The correlation between the actual value and the estimation indicates that the estimation produced by the non-transformed data is more accurate than the transformed data. The estimated results of each parameter are visualized in the form of a map so that changes in groundwater quality every year can be seen. Besides the maps, the results of this study are shown in graphs of changes in the form of cross-sections of each parameter from 2015 to 2019. Visualization of changes in the quality level groundwater is expected to give input for relevant agencies in the conservation of water resources.

**Keywords: Karst Mining, Mapping, Geostatistics, Groundwater Quality.**

## 1. PENDAHULUAN

Kabupaten Gunungkidul didominasi oleh batuan karst. Data inventarisasi dan verifikasi Dinas Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Yogyakarta, terdapat tujuh perusahaan menambang karst dengan total eksploitasi 40.000 m<sup>2</sup>. Terdapat 14 usaha penambangan warga sekitar 7.000 m<sup>2</sup>. Kawasan karst memiliki fungsi utama penyimpanan air bagi ratusan ribu masyarakat sekitar. Namun, kawasan karst sangat rentan perubahan.

Tidak dapat dipungkiri bahwa perubahan kualitas dan kuantitas air merupakan dampak dari aktivitas manusia yang mengeksploitasi lingkungan secara berlebihan. Tingginya eksploitasi berdampak signifikan terhadap perubahan dan perubahan kualitas air. Perlindungan dan pelestarian sumberdaya air harus menjadi salah satu prioritas utama manusia. Pemanfaatan air untuk berbagai kebutuhan harus memperhatikan parameter-parameter kualitas air sesuai baku mutu yang sudah ditetapkan. Sumber mata air di lokasi studi telah dimanfaatkan masyarakat sekitar, seperti untuk kebutuhan air bersih serta sebagai sarana rekreasi alami. Maraknya alih fungsi kawasan hutan (konversi) seperti untuk kegiatan pertambangan, pertanian, perkebunan dan lainnya, berdampak besar pada perubahan kondisi air baik secara kualitas maupun kuantitas (Wiryono, 2013).

Analisis geostatistik digunakan untuk menganalisis dan memprediksi variabel yang berkaitan dengan karakteristik spasial atau *spatio-temporal* suatu fenomena. Metode geostatistik yang berkembang sekarang ini, tidak hanya mampu menginterpolasi nilai suatu variabel secara spasial, tetapi juga memberikan ukuran tingkat ketidakpastian nilai data tersebut. Informasi ketidakpastian suatu data sangat penting bagi para pengambil keputusan. Ketidakpastian memungkinkan para pengambil keputusan untuk memperkirakan *output* apa yang mungkin didapat dari setiap lokasi yang diinterpolasi. Metode interpolasi membutuhkan distribusi data yang normal. Langkah awal adalah menguji distribusi normalitas data dengan menggunakan uji normalitas (Kaymaz, 2018). Berdasarkan hal-hal tersebut, maka perubahan tingkat kualitas air tanah perlu dilakukan estimasi dan divisualisasikan berdasarkan beberapa parameter yang mempengaruhinya sebagai akibat penambangan karst yang berlebihan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Ancaman Penambangan Terhadap Kualitas Air

Penambangan di kawasan karst memiliki pengaruh berkurangnya daya simpan atau daya tampung batu gamping terhadap air hujan, lintasan air dapat berubah atau berpindah tempat, sumber-sumber air pun juga akan berkurang. (Endarto dkk. 2014). Penelitian yang berhubungan dengan pengaruh besar penambangan terhadap sistem karst dilakukan oleh Fang & Fu (2011), penelitian tersebut bertujuan untuk mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi sistem karst meliputi tiga aspek yaitu kuantitas air, kualitas air, dan sistem lingkungan. Efeknya pada kuantitas air yaitu berkurangnya aliran mata air, perubahan muka air dan sebagainya, terutama dipengaruhi oleh skala penambangan, tata letak eksploitasi dan tekanan air. Efek kualitas air yaitu polusi air tanah drainase penambangan. Pengaruh terhadap lingkungan terutama ber manifestasi sebagai perubahan tanah, celah tanah, kontaminasi tanah dan lingkungan ekologis.

Perubahan kualitas air tanah terjadi dari waktu ke waktu tergantung pada pengelolaan air tanah, penggunaan, dan konservasi nya. Untuk lebih memahami rentang waktu perubahan kualitas air dari jangka pendek (*daily to monthly*) dan jangka panjang (*seasonal to decadal*), pada penelitian yang dilakukan oleh Musgrove dkk. (2019) tersebut, lembaga U.S. Geological Survey's National Water-Quality Assessment (NAWQA) mengambil tiga sampel sumur pada tahun 2013 di Akuifer Edwards di selatan-tengah Texas. Dalam penelitian tersebut mengkombinasikan pemantauan berkelanjutan dan pengambilan sampel diskrit untuk membuktikan variabilitas kualitas air dalam rentang waktu tertentu, dinamika akuifer karst, dan kerentanan akuifer. Kerentanan akuifer menjadi perhatian bagi karst, yang rentan terhadap kontaminasi karena tanah tipis, aliran terfokus, dan jalur aliran cepat. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kerentanan terhadap kontaminasi pada keduanya akuifer sangat dipengaruhi oleh jalur aliran cepat dan dominasi air modern (M. Musgrove dkk. 2014).

### 2.2 Analisis Geostatistik

Bidang geostatistik dan analisis spasial sangat terkait karena sama-sama menekankan pada penggunaan pendekatan untuk menggambarkan, menganalisis, dan memvisualisasikan variabilitas spasial dari fenomena yang terjadi secara alami (Oyana & Margai, 2014). Analisis geostatistik menyediakan banyak metode interpolasi yang berbeda (Indarto,

2013). Pada penelitian yang dilakukan oleh Ogbozige dkk. (2018) metode interpolasi yang digunakan adalah *Interpolation Weighted Interpolation* (IDW) untuk prediksi kualitas air di daerah tangkapan air. Alasan menggunakan interpolasi IDW mengasumsikan bahwa semakin dekat titik sampel ke sel yang nilainya diperkirakan, semakin dekat nilai sel dapat menyerupai nilai titik sampel.

Penelitian lain dengan metode interpolasi kriging dilakukan oleh Baalousha (2010) untuk penilaian jaringan pemantauan kualitas air tanah di cekungan Heretaunga, Teluk Hawke, Selandia Baru. Metodologi yang digunakan adalah menggabungkan pemetaan kerentanan dan geostatistik untuk membantu menentukan jaringan pemantauan kualitas air tanah yang paling efisien pada skala regional. Pemetaan kerentanan mengidentifikasi area dengan potensi polusi tinggi, dan pada alirannya, diprioritaskan untuk pemantauan kandungan nitrat. Metodologi geostatistik kemudian digunakan untuk menginterpretasikan data yang diperoleh dan untuk memeriksa distribusi spasial dari parameter yang dipantau. Penelitian ini mengusulkan metodologi untuk menilai jaringan pemantauan air tanah yang menggabungkan faktor *hidrogeologis* dengan geostatistik, dan telah menunjukkan bahwa metode tersebut berguna dalam menentukan lokasi pengambilan sampel yang diperlukan untuk mengoptimalkan pemodelan kualitas air tanah.

Berdasarkan penjabaran penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sampai saat ini, perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan parameter yang digunakan untuk interpolasi yaitu parameter yang berpengaruh dalam perubahan kualitas dan kuantitas air akibat penambangan karst mengacu pada Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 20 tahun 2008, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Persamaan dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan metode interpolasi yaitu *ordinary kriging* dengan *tool cokriging* karena dapat digunakan untuk memprediksi distribusi spasial variabel primer dengan mempertimbangkan variabel sekunder, dengan syarat kedua variabel saling berkorelasi. Variabel primer diantaranya yaitu kualitas dan kuantitas air, sedangkan variabel sekunder yaitu parameter yang berkorelasi atau yang mempengaruhi perubahan tingkat kualitas dan kuantitas air tanah.

Selain itu *ordinary kriging* dikenal sebagai *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE), metode estimasi ini mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi estimasi, yaitu: banyaknya sampel, posisi sampel, jarak antar sampel dengan titik yang diestimasi, dan kontinuitas spasial dari variabel-variabel yang terlibat. Namun secara umum metode *ordinary kriging* menghasilkan *smoothing effect* pada

hasil estimasi, sehingga dianggap mengabaikan variabilitas lokal diantara data asli. Oleh karena itu, pada penelitian ini juga dilakukan simulasi berupa visualisasi dimana multi-realisisasi hasil simulasi tetap pada distribusi statistik data awal (*equiprobable*) dan memperhitungkan variabilitas lokal diantara data asli.

### 2.3 Kriging

Metode kriging dikembangkan oleh George Matheron sebagai *theory of regionalized variables* dan D.G. Krige sebagai sebuah metode interpolasi yang optimal untuk digunakan di dalam ilmu pertanian. Dasar dari teknik kriging adalah laju perubahan antar titik di dalam ruang yang dapat di representasi kan dengan variogram. Tugas kriging menurut Royle dkk. (1981) dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Mengkuantifikasi struktur spasial dari data, dan
- 2) Menghasilkan permukaan prediksi.

Mengkuantifikasi struktur spasial disebut juga variografi, yaitu mencocokkan sebuah model ketergantungan-spasial (*spatial-dependence*) pada data ukuran, sedangkan untuk membuat prediksi sebuah nilai *unknown* pada suatu lokasi tertentu, kriging akan menggunakan:

- 1) Model yang diperoleh variografi,
- 2) Konfigurasi data spasial, dan
- 3) Nilai titik-titik sampel ukuran di sekitar lokasi prediksi.

Model kriging secara umum dinyatakan dalam rumus matematika sederhana sebagai berikut:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s) \quad (1)$$

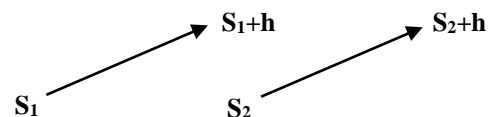
dimana:

$Z(s)$  : variabel yang menjadi perhatian,

$\mu(s)$  : tren deterministik  $\mu(s)$ ,

$\varepsilon(s)$  : berautokorelasi, simbol  $s$  menyatakan posisi; misalnya dalam koordinat spasial  $x$ -(bujur) dan  $y$ -(lintang).

Variasi dari persamaan II.2 membentuk basis untuk semua jenis kriging yang berbeda. Sekompleks apapun tren di dalam model tersebut  $\mu(s)$  tetap tidak dapat diprediksi dengan sempurna. Dalam hal ini dibuat beberapa asumsi mengenai unsur kesalahan (*error*)  $\varepsilon(s)$  yaitu  $\varepsilon(s)$  diharapkan bernilai nol (secara rata-rata), dan autokorelasi antara  $\varepsilon(s)$  dan  $\varepsilon(s+h)$  tidak tergantung pada lokasi aktual  $s$  melainkan pada pergeseran (*displacement*)  $h$  di antara keduanya.



Gambar 1. Hubungan antara lokasi ( $s$ ) dan pergeseran ( $h$ )

Pada Gambar 1 kesalahan acak pada pasangan-pasangan lokasi yang dihubungkan oleh tanda panah diasumsikan mempunyai autokorelasi yang sama. Tren bisa merupakan sebuah konstanta sederhana; yaitu  $\mu(s) = \mu$  untuk semua lokasi  $s$ , dan jika  $\mu$  adalah *unknown* maka inilah model dasar dari *ordinary kriging*. Tren juga bisa merupakan fungsi linier dari koordinat spasial, sebagai contoh:

$$\mu(s) = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2y + \beta_3x^2 + \beta_4y^2 + \beta_5xy \quad (2)$$

dimana fungsi persamaan II.3 adalah sebuah permukaan tren polinomial orde-2 dan merupakan regresi linier terhadap koordinat spasial  $x$ - dan  $y$ -. Tren yang bervariasi dimana koefisien regresi tidak diketahui (*unknown*), membentuk model *universal kriging*. Jika tren benar-benar diketahui (artinya semua parameter dan *covariance* diketahui), konstan ataupun tidak, membentuk model *simple kriging* (Johnston dkk., 2001).

### II.6.2. Cokriging

Cokriging secara matematis hampir identik dengan Kriging. Cokriging biasa mengasumsikan model berikut:

$$Z1(s) = \mu1 + \varepsilon1(s) \quad (3)$$

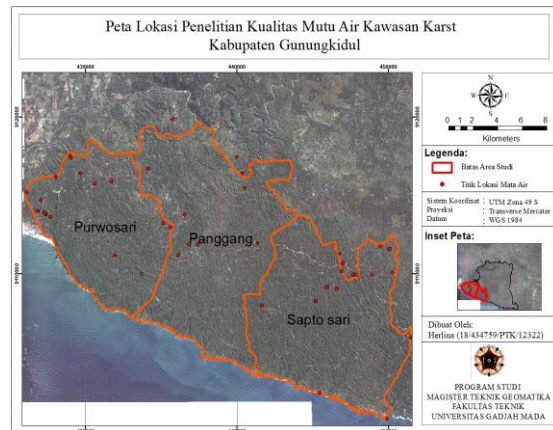
$$Z2(s) = \mu2 + \varepsilon2(s) \quad (4)$$

$$Zn(s) = \mu n + \varepsilon n(s) \quad (5)$$

Cokriging menggunakan informasi tentang beberapa tipe variabel. Variabel utama yang menarik  $Z1$ , dan baik autokorelasi untuk  $Z1$  dan korelasi silang antara  $Z1$  dan semua jenis variabel lainnya digunakan untuk membuat prediksi yang lebih baik. Cokriging membutuhkan lebih banyak estimasi, termasuk memperkirakan autokorelasi untuk setiap variabel dan juga semua korelasi silang. Secara teoritis, cokriging melakukan lebih baik daripada kriging karena jika tidak ada korelasi silang, dapat kembali menggunakan autokorelasi untuk  $Z1$ . Namun, setiap kali memperkirakan parameter autokorelasi yang tidak diketahui, dapat lebih banyak variabilitas, sehingga perolehan dalam ketepatan prediksi mungkin tidak terlalu baik (Johnston dkk., 2001).

## 3. DATA DAN METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan di tiga kecamatan yaitu Kecamatan Purwosari, Kecamatan Panggang, Kecamatan Saptosari di Kabupaten Gunungkidul seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah delapan parameter penilaian kualitas air tanah. Tabel 1 menunjukkan kedelapan parameter yang diteliti.

Tabel 1. Parameter kualitas air tanah yang diteliti

Jenis Parameter	Parameter	Satuan
Parameter Fisika	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
Parameter Fisika	Kekeruhan	NTU
Parameter Fisika	TDS	mg/l
Parameter Kimia	pH	
Parameter Kimia	Kesadahan ( $\text{CaCO}_3$ )	mg/l
Parameter Kimia	Mangan (Mn)	mg/l
Parameter Kimia	Besi (Fe)	mg/l
Parameter Kimia	Chlorida	mg/l

Metode penelitian yaitu dengan melakukan penyusunan model interpolasi spasial *ordinary kriging* dengan tool cokriging. Konversi data ke dalam bentuk shapefile (.shp). Data yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gunungkidul ini sebagian masih dalam format tabel, maka dari itu perlu dilakukan konversi ke dalam bentuk shape file (.shp) untuk dapat dilakukan pengolahan di dalam perangkat lunak ArcGIS 10.4.1. Pemodelan kualitas air tanah dilakukan dengan menggunakan ekstensi *Geostatistical Analyst* yang terdapat pada perangkat lunak ArcGIS 10.4.1, dengan menampilkan titik sampel berupa *Shape File* (.Shp) yang dihasilkan dari proses konversi sebelumnya. Pada penelitian ini pemodelan prediksi kualitas air tanah dilakukan menggunakan teknik interpolasi *Ordinary Kriging* dan model semivariogram yang digunakan adalah model *spherical*, *exponential*, *gaussian*, *circular* dimana keempat model tersebut masing-masing menggunakan pendekatan isotropis. Selain menggunakan teknik interpolasi *ordinary kriging* dilakukan interpolasi deter Proses interpolasi ini

menggunakan menu *Geostatistical Analyst*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses interpolasi adalah memilih data masukan dan metode yang digunakan. Data yang digunakan adalah data sebaran mata air selama lima tahun yaitu tahun 2015 sampai dengan tahun 2019. Sedangkan data atribut yang digunakan adalah delapan parameter kualitas air yaitu suhu, kekeruhan, TDS, PH, kesadahan, mangan, besi, dan klorida. Nilai atribut inilah yang nantinya akan diinterpolasi. Setelah menentukan data masukan dilanjutkan dengan memilih model *Semivariogram*.

Tahapan selanjutnya melakukan *Searching neighborhood*. *Searching neighborhood* digunakan untuk menempatkan titik-titik data kedalaman muka air tanah sesuai dengan besarnya pengaruh autokorelasinya, berdasarkan asumsi bahwa jarak yang semakin jauh autokorelasinya semakin kecil. Ada beberapa tipe sektor yang dapat digunakan yaitu satu sektor, 4 sektor dengan 45° offset dan 8 sektor. Pemilihan tipe sektor mempengaruhi dalam penentuan *neighborhood* dari data sampel. Dalam penelitian ini tipe sektor yang dipilih adalah 4 sektor dengan 45° offset, karena setelah

dilakukan percobaan dengan tipe sektor yang lain ternyata 4 sektor dengan 45° offset inilah yang memberikan ketelitian paling baik dilihat dari hasil RMSE. Melakukan Validasi silang (*Cross Validation*). Validasi silang merupakan proses validasi semua data sampel yang digunakan terhadap data sampel itu sendiri.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses *cross validation* dihasilkan nilai RMSE. *Cross validation* bertujuan untuk menentukan prediksi paling akurat. Jika nilai RMSE mendekati 0 berarti model prediksi yang dihasilkan tidak bias. Model *semivariogram* yang akurat memiliki nilai RMSP sekecil mungkin sehingga estimasi yang dihasilkan mendekati nilai aktual (Johnston et al, 2001). Jika  $RMSP > 1$ , maka validitas estimasi diragukan (*underestimated*). Jika  $RMSP < 1$ , maka validitas estimasi lebih dipercaya (*overestimated*). Hasil validasi silang untuk semua model dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Informasi RMSE

Parameter	Metode Interpolasi	Root Mean Squared Error				
		2015	2016	2017	2018	2019
Suhu	Kriging Model Semivariogram Spherical	1,19471	1,66009	<b>1,29209</b>	0,91097	1,98694
	Kriging Model Semivariogram Exponential	1,20258	1,66009	1,34846	0,90661	1,94833
	Kriging Model Semivariogram Gaussian	1,20756	1,53762	1,47339	0,74767	1,84199
	Kriging Model Semivariogram Circular	1,20096	1,53671	1,48578	<b>0,74211</b>	1,83937
	Inverse Distance Weighting	1,24845	<b>1,29046</b>	1,43625	0,81891	<b>1,66124</b>
	Radial Basis Function	<b>1,19018</b>	1,29436	1,48136	0,74736	1,78542
Kekeruhan	Kriging Model Semivariogram Spherical	5,91253	13,6365	32,7352	6,40109	3,02279
	Kriging Model Semivariogram Exponential	5,68417	9,45099	32,7858	6,96991	3,00187
	Kriging Model Semivariogram Gaussian	6,28381	13,6365	33,9052	<b>5,56075</b>	3,11873
	Kriging Model Semivariogram Circular	5,94625	10,0522	32,8265	6,26443	3,01057
	Inverse Distance Weighting	6,66828	11,5794	42,7128	10,853	<b>2,89056</b>
	Radial Basis Function	<b>5,33241</b>	<b>9,26357</b>	<b>31,244</b>	6,37503	3,01745
TDS	Kriging Model Semivariogram Spherical	43,8469	46,3133	34,5205	52,2201	35,4405
	Kriging Model Semivariogram Exponential	42,7622	47,129	36,7039	52,9655	36,0545
	Kriging Model Semivariogram Gaussian	44,4952	<b>45,306</b>	<b>32,2038</b>	51,5207	<b>34,3128</b>
	Kriging Model Semivariogram Circular	44,7281	46,218	34,3629	52,2592	35,3288
	Inverse Distance Weighting	44,9584	53,0723	55,8464	59,2663	39,1599

Parameter	Metode Interpolasi	Root Mean Squared Error				
		2015	2016	2017	2018	2019
PH	Radial Basis Function	<b>41,9434</b>	48,2286	44,042	<b>51,0416</b>	35,1789
	Kriging Model Semivariogram Spherical	0,27669	<b>0,19329</b>	0,23834	0,23699	0,58126
	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,27211	0,19055	<b>0,23663</b>	0,23728	0,58126
	Kriging Model Semivariogram Gaussian	<b>0,26992</b>	0,19563	0,23758	0,23816	0,58213
	Kriging Model Semivariogram Circular	0,27793	0,19349	0,23849	0,23766	0,58361
	Inverse Distance Weighting	0,29782	0,21782	0,28398	<b>0,21609</b>	<b>0,55893</b>
Kesadahan	Radial Basis Function	0,27563	0,19546	0,24975	0,22066	0,56146
	Kriging Model Semivariogram Spherical	61,1528	55,7823	51,5164	39,5071	<b>39,2658</b>
	Kriging Model Semivariogram Exponential	62,1341	<b>55,6803</b>	51,9531	39,5071	39,2658
	Kriging Model Semivariogram Gaussian	<b>61,0721</b>	55,8455	<b>51,006</b>	<b>39,5071</b>	39,2658
	Kriging Model Semivariogram Circular	61,1569	55,8308	51,5131	39,5071	39,2658
	Inverse Distance Weighting	77,6813	77,0531	64,6102	50,5557	49,475
Mangan	Radial Basis Function	65,3199	62,1912	54,5358	44,2758	42,6618
	Kriging Model Semivariogram Spherical	0,04087	0,03114	0,03031	130,952	0,13725
	Kriging Model Semivariogram Exponential	<b>0,04045</b>	0,03127	0,03043	130,971	<b>0,13725</b>
	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,04085	<b>0,03111</b>	0,03044	0,12806	<b>0,13725</b>
	Kriging Model Semivariogram Circular	0,04084	0,03111	<b>0,03031</b>	<b>0,12675</b>	0,13725
	Inverse Distance Weighting	0,04393	0,03775	0,03833	0,19341	0,2829
Besi	Radial Basis Function	0,04097	0,03362	0,03402	0,13663	0,15208
	Kriging Model Semivariogram Spherical	0,16374	0,24528	0,05271	0,09949	<b>0,05252</b>
	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,16643	<b>0,03127</b>	<b>0,05271</b>	0,09951	<b>0,05252</b>
	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,16446	0,24934	0,05271	<b>0,09933</b>	0,05252
	Kriging Model Semivariogram Circular	0,16369	0,24308	0,05271	0,09952	0,05252
	Inverse Distance Weighting	0,43898	0,40233	0,10545	0,19946	0,10442
Klorida	Radial Basis Function	<b>0,16334</b>	0,2253	0,05664	0,10234	0,05688
	Kriging Model Semivariogram Spherical	4,92934	5,32959	6,20976	7,46789	12,8125
	Kriging Model Semivariogram Exponential	4,87328	5,3071	6,17817	7,41964	13,5008
	Kriging Model Semivariogram Gaussian	4,94781	5,33053	6,46571	7,65585	<b>11,9995</b>
	Kriging Model Semivariogram Circular	4,92832	5,34038	6,22987	7,52883	12,5884
	Inverse Distance Weighting	4,54067	<b>4,84638</b>	<b>5,77332</b>	<b>7,40232</b>	15,8163
	Radial Basis Function	<b>4,47718</b>	4,92438	6,35337	7,64759	13,3038



Berdasarkan nilai RMSE yang dihasilkan oleh semua model terlihat bahwa nilai RMSE yang dihasilkan bervariasi. Nilai RMSE yang dicetak tebal adalah nilai RMSE terkecil dari enam metode interpolasi. Artinya metode interpolasi tersebut adalah yang terbaik. Namun terdapat lima parameter yang menghasilkan nilai RMSE lebih dari satu. Nilai-nilai pengamatan yang tinggi meningkatkan varians dari data dan membuat analisa semivariogram dan estimasi ordinary kriging sulit untuk dilakukan. Solusi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan menghilangkan nilai pemantauan yang tinggi (*outlier*) atau mentransformasi data asli menggunakan logaritma

natural dengan mengubah skor normal. Transformasi logaritma natural adalah membuat log pada setiap data set sehingga tidak memiliki varian yang jauh dari data set lainnya. Tujuan transformasi data adalah untuk mendapatkan distribusi yang simetris. Pada penelitian ini digunakan transformasi logaritma natural. Transformasi ini hanya mampu mengatasi ketidakstasioneran pada varians saja, sedangkan ketidakstasioneran pada rata-rata belum teratasi. Transformasi logaritma natural merupakan pilihan yang baik digunakan tidak hanya di geostatistik tetapi juga di bidang lain. Transformasi logaritma natural memiliki sifat prediksi khusus dan dikenal sebagai kriging log normal.

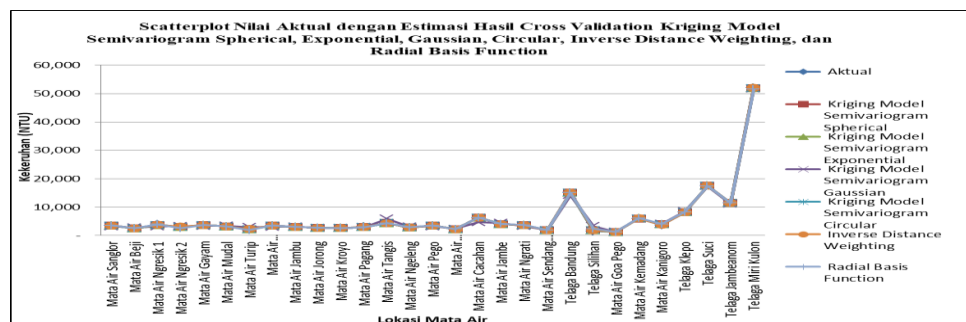
**Tabel 3.** Uji Korelasi Nilai Aktual dan Hasil Estimasi Metode Interpolasi Terbaik

Parameter	Suhu	Metode interpolasi	Uji korelasi Nilai Aktual dan Hasil Estimasi
<b>Suhu</b>	2015	Radial Basis Function	-0,421543993
	2016	Inverse Distance Weighting	0,999543649
	2017	Kriging Model Semivariogram Spherical	0,969374829
	2018	Kriging Model Semivariogram Circular	0,941075959
	2019	Inverse Distance Weighting	0,992251417
<b>Kekeruhan</b>	2015	Radial Basis Function	0,999811902
	2016	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,997710356
	2017	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,717209244
	2018	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,99972043
	2019	Inverse Distance Weighting	0,972465497
<b>TDS</b>	2015	Radial Basis Function	0,079785808
	2016	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,322421478
	2017	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,811550083
	2018	Radial Basis Function	0,990737725
	2019	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,793420424
<b>PH</b>	2015	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,419602633
	2016	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,885921569
	2017	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,56359929
	2018	Inverse Distance Weighting	0,998905559
	2019	Inverse Distance Weighting	0,953634809
<b>Kesadahan</b>	2015	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,419602633
	2016	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,009203924
	2017	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,268013031
	2018	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,263184462
	2019	Kriging Model Semivariogram Spherical	0,013511218
<b>Mangan</b>	2015	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,548884234
	2016	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,275121153
	2017	Kriging Model Semivariogram Circular	0,631289782

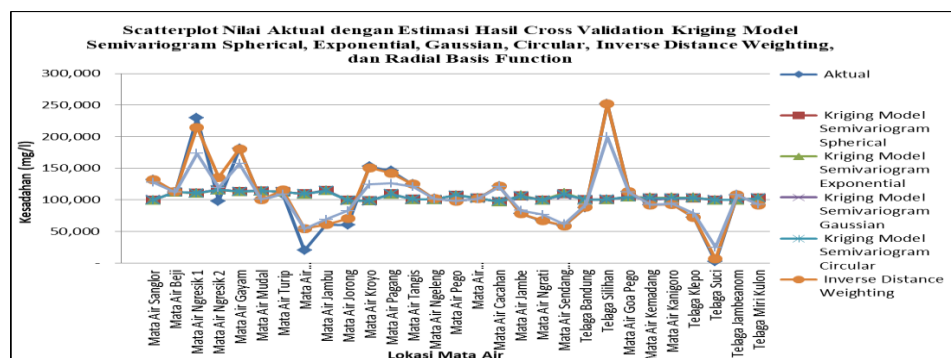
Parameter	Suhu	Metode interpolasi	Uji korelasi Nilai Aktual dan Hasil Estimasi
Besi	2018	Kriging Model Semivariogram Circular	0,980240367
	2019	Kriging Model Semivariogram Circular	0,150338683
	2015	Radial Basis Function	0,595530336
	2016	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,109649373
	2017	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,265127834
	2018	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,52877365
	2019	Kriging Model Semivariogram Exponential	0,375967558
	2015	Radial Basis Function	-0,361633796
	2016	Inverse Distance Weighting	0,998702695
	2017	Inverse Distance Weighting	0,933905819
Klorida	2018	Inverse Distance Weighting	0,995269092
	2019	Kriging Model Semivariogram Gaussian	0,838414797

Merujuk pada Tabel 3, Korelasi antara nilai aktual dan nilai estimasi mendekati 1 jika berkorelasi kuat dan mendekati 0 jika korelasi nya lemah. Model gaussian pada tahun 2016 parameter kekeruhan mempunyai korelasi antara nilai aktual dan nilai estimasi paling besar dari keseluruhan model yaitu sebesar 0,99972043. Sedangkan model yang menghasilkan korelasi antara nilai aktual dan nilai estimasi paling kecil adalah model exponential parameter kesadahan

pada tahun 2016 sebesar 0,009203924. Model yang mempunyai korelasi antara nilai aktual dan nilai estimasi bernilai negatif berarti bahwa hasil antara nilai aktual dengan nilai estimasi akan bertolak belakang atau hubungan tersebut bersifat negatif. Di mana jika nilai aktual naik, maka nilai estimasi akan turun. Perbandingan nilai aktual dan estimasi disajikan dalam bentuk scatterplot pada Gambar 3 dan Gambar 4.



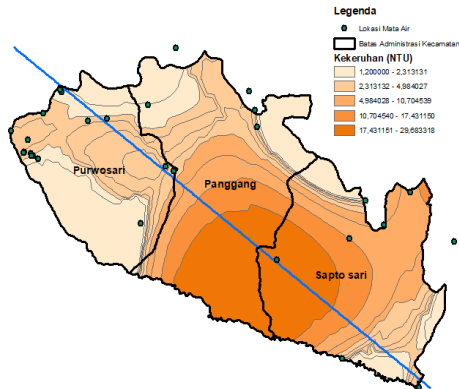
Gambar 3. Scatterplot Nilai Aktual dengan Estimasi Pada Parameter Kekeruhan Tahun 2016



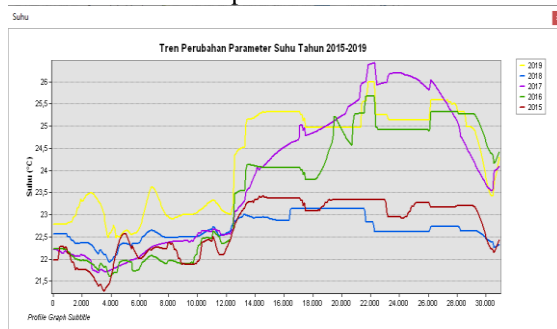
Gambar 4. Scatterplot Nilai Aktual dengan Estimasi Pada Parameter Kesadahan Tahun 2016



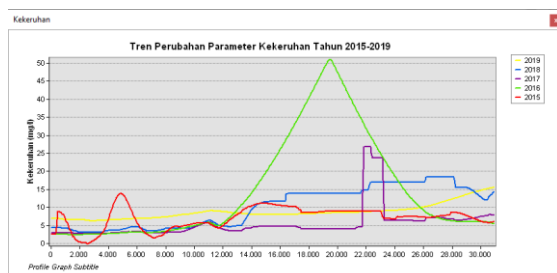
Dari hasil pemodelan kualitas air dapat dianalisis bagaimana karakteristik distribusi spasial setiap parameter yang dimodelkan antara tahun 2015 sampai tahun 2019. Penampang melintang arah utara ke selatan sebagai sampel untuk mengetahui tren yang terjadi di wilayah tersebut sehingga dapat terpantau perubahan setiap parameter selama lima tahun. Wilayah yang dijadikan sampel adalah yang dilewati oleh garis seperti pada Gambar 5.



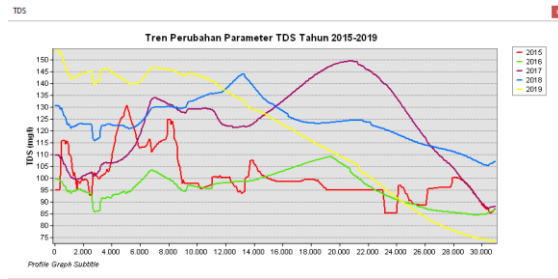
**Gambar 5.** Wilayah yang dijadikan sampel tren perubahan setiap parameter Berdasarkan **Gambar 13** berikut menunjukkan tren perubahan setiap parameter kualitas air tanah yang diteliti tahun 2015 sampai tahun 2019.



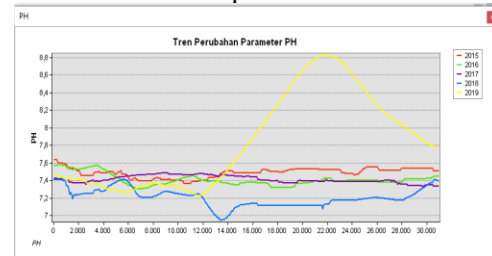
**Gambar 6.** Tren perubahan parameter suhu dari tahun 2015 sampai tahun 2019



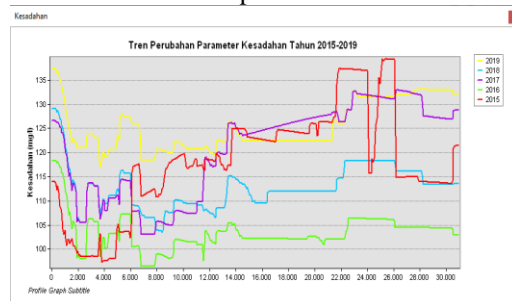
**Gambar 7.** Tren perubahan parameter kekeruhan dari tahun 2015 sampai tahun 2019



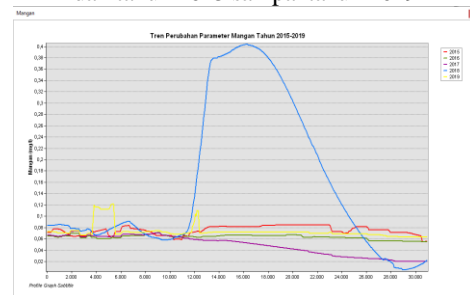
**Gambar 8.** Tren perubahan parameter TDS dari tahun 2015 sampai tahun 2019



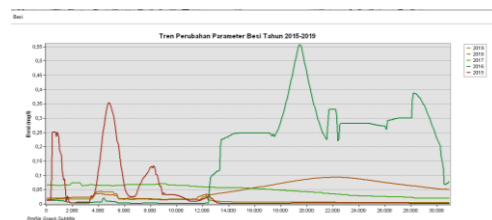
**Gambar 9.** Tren perubahan parameter PH dari tahun 2015 sampai tahun 2019



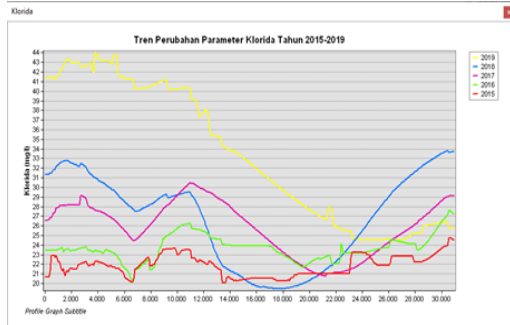
**Gambar 10.** Tren perubahan parameter kesadahan dari tahun 2015 sampai tahun 2019



**Gambar 11.** Tren perubahan parameter mangan dari tahun 2015 sampai tahun 2019



**Gambar 12.** Tren perubahan parameter besi dari tahun 2015 sampai tahun 2019

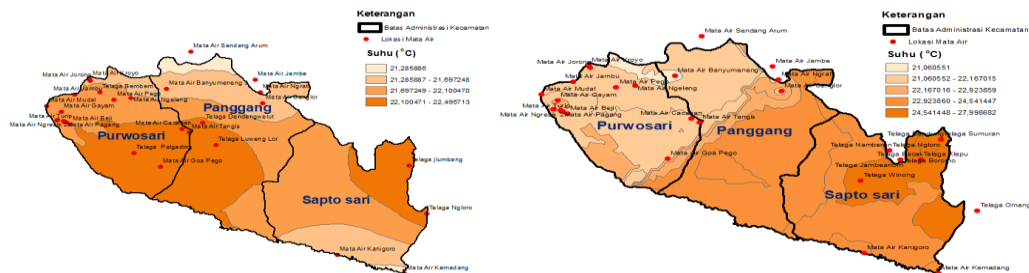


**Gambar 13.** Tren perubahan parameter klorida dari tahun 2015 sampai tahun 2019

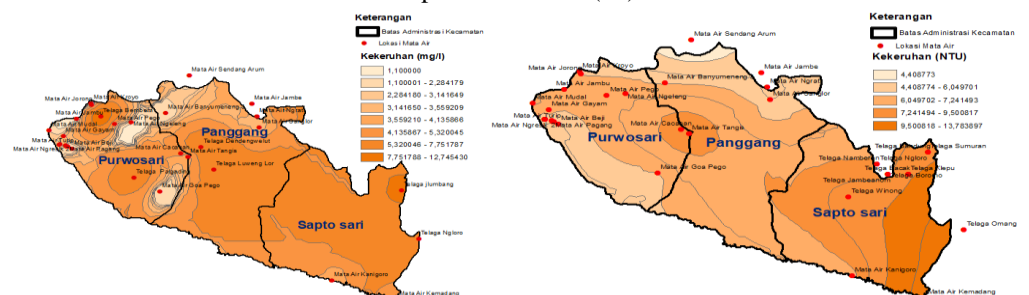
Merujuk pada Gambar 6 sampai dengan **Gambar 13** dapat dijelaskan bahwa delapan penampang melintang pada wilayah penelitian arah utara ke selatan ini menunjukkan tren yang bervariasi. Wilayah penelitian bagian utara yang meliputi Kecamatan Purwosari mengalami kenaikan parameter suhu, TDS dan klorida yang paling tinggi pada tahun 2019. Kecamatan

Panggang mengalami kenaikan yang paling tinggi parameter kesadahan pada tahun 2017, dan untuk wilayah bagian selatan yaitu Kecamatan Saptosari mengalami kenaikan parameter suhu, TDS yang paling tinggi pada tahun 2017, kekeruhan yang paling tinggi pada tahun 2016, PH yang paling tinggi pada tahun 2019, kesadahan yang paling tinggi pada tahun 2015, mangan yang paling tinggi pada tahun 2018, dan besi yang paling tinggi pada tahun 2017.

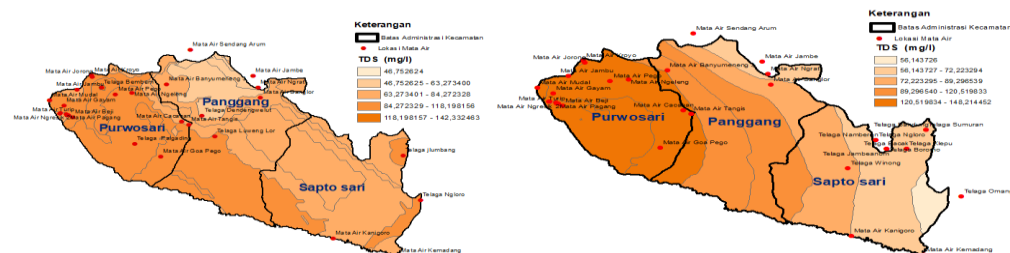
Berdasarkan tren perubahan setiap parameter kualitas air tanah setiap tahunnya kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta klasifikasi kandungan konsentrasi setiap parameter. Perubahan tersebut dapat dilihat pada awal tahun penelitian yaitu tahun 2015 dan tahun terakhir penelitian yaitu tahun 2019. Gambar 14 sampai dengan Gambar 21 menyajikan perubahan gradasi warna pada setiap wilayah yang berbeda menunjukkan perubahan setiap konsentrasi parameter setiap tahunnya.



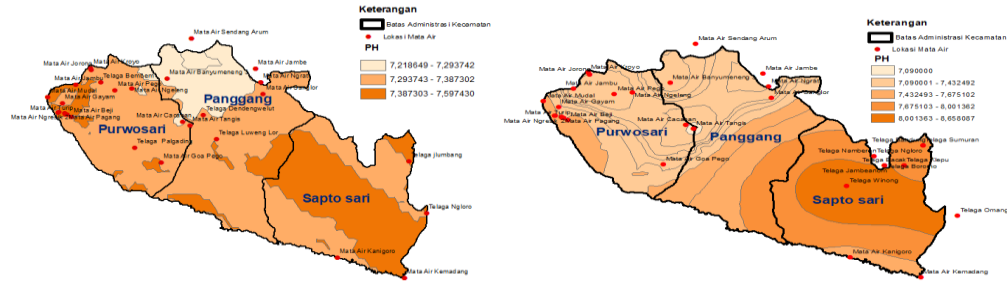
**Gambar 14.** Peta Perubahan parameter suhu (°C) tahun 2015 dan tahun 2019



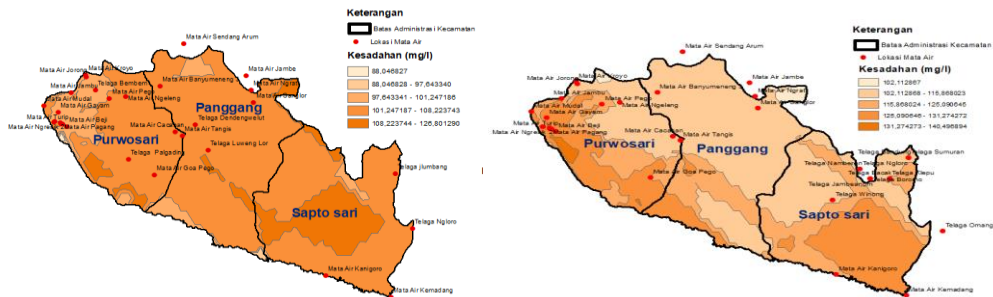
**Gambar 15.** Peta Perubahan parameter kekeruhan (NTU) tahun 2015 dan tahun 2019



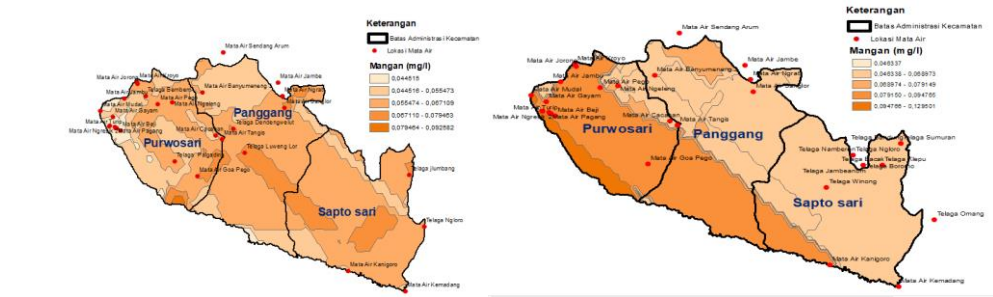
**Gambar 16.** Peta Perubahan parameter TDS (mg/l) tahun 2015 dan tahun 2019



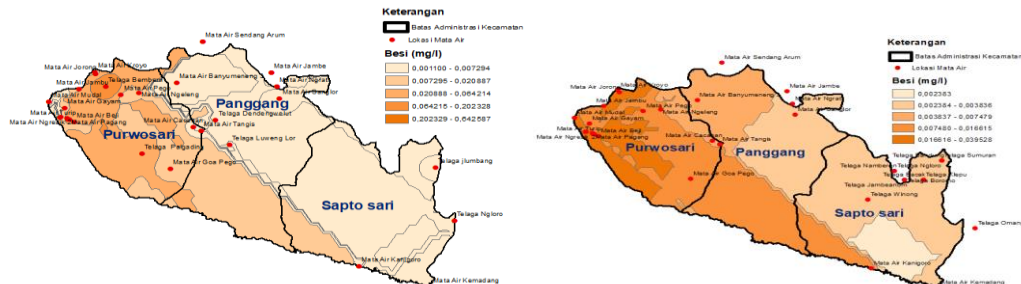
Gambar 17. Peta Perubahan parameter PH tahun 2015 dan tahun 2019



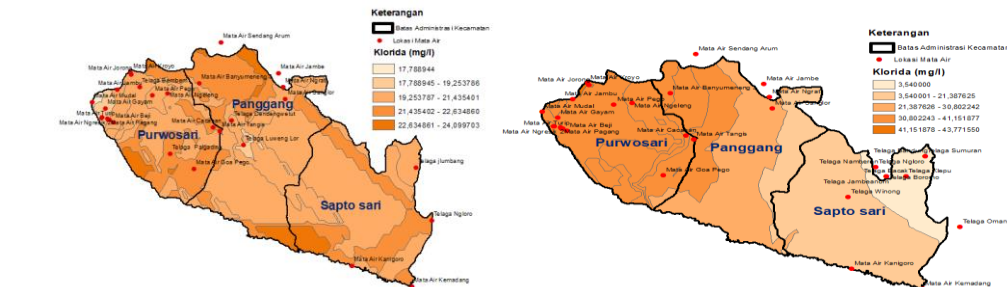
Gambar 18. Peta Perubahan parameter kesadahan (mg/l) tahun 2015 dan tahun 2019



Gambar 19. Peta Perubahan parameter mangan (mg/l) tahun 2015 dan tahun 2019



Gambar 20. Peta Perubahan parameter besi (mg/l) tahun 2015 dan tahun 2019



Gambar 21. Peta Perubahan parameter klorida (mg/l) tahun 2015 dan tahun 2019

Berdasarkan peta dan penampang melintang tersebut terlihat pola pergerakan berubahnya konsentrasi setiap parameter dilihat dari gradasi warna. Konsentrasi suhu, kekeruhan, PH, kesadahan mengalami kenaikan yang signifikan di sebagian Kecamatan Saptosari, konsentrasi TDS dan klorida mengalami kenaikan signifikan di sebagian Kecamatan Purwosari sedangkan konsentrasi mangan dan besi mengalami kenaikan signifikan di Kecamatan Purwosari dan Panggang. Berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 20 tahun 2008, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, dalam kurun waktu lima tahun dengan perubahan variabel-variabel ekologi perairan parameter fisika dan kimia didapatkan baku mutu kualitas air kawasan karst tiga kecamatan tersebut dalam kondisi tercemar ringan.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Data konsentrasi suhu, kekeruhan, TDS, PH, kesadahan, mangan, besi, dan klorida sebagai parameter penilaian kualitas air tanah ini masih memiliki kelemahan yaitu kurangnya titik sampel di sebagian besar wilayah penelitian bagian selatan, oleh karena itu semua titik sampel yang ada diikutsertakan dalam proses interpolasi. Kurangnya titik sampel di beberapa wilayah berpengaruh pada besarnya kesalahan (*error*) yang dihasilkan dari hasil pemodelan. Daerah yang kerapatan titik sampelnya lebih rapat memiliki kesalahan pemodelan yang lebih kecil dibandingkan dengan daerah yang kerapatan titik sampelnya kurang. Selain kelemahan, data ini juga memiliki kelebihan yaitu data temporal berupa data selama lima tahun yaitu 2015 sampai dengan tahun 2019, sehingga dari hasil pemodelan dapat dianalisis apakah tren yang terjadi selama lima tahun tersebut, terjadi penurunan atau kenaikan setiap parameter yang diteliti sehingga dapat diketahui kualitas air tanah di Kecamatan Panggang, Kecamatan Saptosari dan Kecamatan Purwosari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baalousha, H. 2010. Assessment Of A Groundwater Quality Monitoring Network Using Vulnerability Mapping And Geostatistics: A Case Study From Heretaunga Plains, New Zealand. *Journal Of Agricultural Water Management*, 97(2), 240–246.
- Effendy, Hefni. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan. Kanisius. Yogyakarta
- Endarto, R., Gunawan, T., & Haryono, E. 2014. Kajian Kerusakan Lingkungan Karst Sebagai Dasar Pelestarian Sumberdaya Air (Kasus Di Das Bribin Hulu Kabupaten Gunungkidul Daerah Istimewa Yogyakarta). *Majalah Geografi Indonesia*, 29(1), 51.
- Fang, X., & Fu, Y. 2011. Impact of Coal Mining on Karst Water System in North China. *Procedia Earth and Planetary Science*, 3, 293–302.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. 2001. Using ArcGis Geostatistical Analyst. *Transactions in GIS*, 5(2), 165–178.
- Kaymaz, S. 2018. Mapping Water Quality by Using Geostatistical Method ( Marmaris Bay , Mugla , Turkey). *Journal of Marine Biology and Aquatic Research*, 1(1), 1–9.
- Musgrove, M. L., Katz, B. G., Fahlquist, L. S., Crandall, C. A., & Lindgren, R. J. 2014. Factors Affecting Public-Supply Well Vulnerability In Two Karst Aquifers. *Ground Water*, 52, 63–75.
- Musgrove, M., Solder, J. E., Opsahl, S. P., & Wilson, J. T. 2019. Timescales Of Water-Quality Change In A Karst Aquifer, South-Central Texas. *Journal of Hydrology X*, 4(February)
- Ogbozige, F. J., Adie, D. B., & Abubakar, U. A. 2018. Water Quality Assessment And Mapping Using Inverse Distance Weighted Interpolation: A Case Of River Kaduna, Nigeria. *Nigerian Journal of Technology*, 37(1), 249.
- Oyana, T. J., & Margai, F. M. 2014. Spatial Analysis Statistics, Visualization, and Computational Methods. In *Hazards Analysis: Reducing the Impact of Disasters, Second Edition*.
- Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 20 tahun 2008, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Wiryo, Wiryo 2013. Aspek Ekologis Hutan Tanaman Indonesia. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Balai Penelitian Kehutanan. Kementerian Kehutanan, Palembang, pp. 203-2012. ISBN 978-602-98588-2-2